

在乙二醇脱水器中优化乙二醇循环速度和安装闪蒸分离器

OPTIMIZE GLYCOL CIRCULATION AND INSTALL FLASH TANK SEPARATORS IN GLYCOL DEHYDRATORS

1 内容提要

在天然气生产部门大约有 38 000 套乙二醇脱水系统, 每年预计向大气中排放 220 亿立方英尺的甲烷气体。大多数脱水系统使用三甘醇 (TEG) 作为吸收液将水分从天然气中除去。当 TEG 吸收水分时, 它还吸收甲烷、其他挥发性有机化合物 (VOCs) 和危险性空气污染物 (HAPs)。当 TEG 在再沸器中通过加热再生时, 吸收的甲烷、VOCs 和 HAPs 随着水蒸汽排放到大气中, 这将浪费大量天然气和金钱。

被吸收和排放的甲烷量与 TEG 循环速度成正比。很多气井产气能力远低于最初设计水平, 但循环 TEG 的速度则是所需速度的 2~3 倍, 结果是天然气湿度质量没有多大提高, 反而使甲烷排放量和燃料使用量增加。在费用忽略不计的情况下, 降低循环速度可减少甲烷排放量。

在乙二醇脱水器上安装闪蒸分离器可进一步减少甲烷、VOC 和 HAP 的排放量, 并能节约更多的金钱。回收的天然气既可以被重新循环到压缩机吸入口处和/或作为 TEG 再沸器和压缩机发动机的燃料使用。经济分析表明, 在脱水装置上安装闪蒸分离器, 4~17 个月就能收回成本。

减少气体损失的方法	TEG 循环速度 (加仑/小时)	节省气体的价值 (美元/年) ²		减少气体损失的费用	投资回收期 (月)
		能量交换	电泵		
降低 TEG 循环速度	超过循环速度的 50%~200% ¹	390~39 400/年 ¹		很少	直接
闪蒸分离器	150	2 130 ³	710 ³	5 000~5 600 美元	6~17
	450	21 295 ³	8 762 ³	7 000~14 000 美元	5~8

¹TEG 最佳循环速度为 30~750 加仑/小时。
²天然气价格按 3 美元/千立方英尺计算。
³包含回收天然气凝析液销售所得收入。

2 技术背景

许多生产者在脱水器中使用三甘醇 (TEG) 将水分从天然气气流中除去, 以达到管道外输质量标准。在一个典型的 TEG 系统中 (如图 1 所示), “贫” (干) TEG 被泵入气体接触塔中。在接触塔内, TEG 从湿的采出气中吸收水分、甲烷、VOCs 和 HAPs (包括苯、甲苯、苯乙烷和二甲苯 (BTEX))。饱和和天然气气体的“富” (湿) TEG 在销售管线压力下离开接触塔, 销售管线压力一般在 250~800 psig 之间。吸附在富乙二醇中的气体, 加上绕过接触塔的湿气体, 膨胀通过 TEG 循环泵的能量交换驱动器。TEG 接着被循环通过一个再沸器, 所吸收的水分、甲烷和 VOCs 在该再沸器中被蒸发出来并被排放到大气中。贫 TEG 接着通过能量交换泵被送回到气体接触塔中, 重复下一个循环。

因为以上所述的系统主要设计来从天然气气流中除去水分, 所以会造成大量的甲烷排放。然而, 作业者可以采用以下几个步骤将天然气损失减至最小。

2.1 降低 TEG 循环速度

随着气藏压力下降，气田将经历产量降低过程。井口乙二醇脱水器和 TEG 循环速度是根据气田最初的最大产量设计的，然而，当气井进入成熟开发阶段后，这些设备的处理能力和工作参数则显得过大。为了满足销售气体对湿度的技术要求，TEG 循环速度远高于所需速度，这是很常见的。乙二醇脱水器的甲烷排放量与循环通过该系统的 TEG 量成正比。循环速度越大，从再生器中排出的甲烷量就越多。过度循环会导致更多的甲烷排放，且不能显著地降低气体湿度。天然气 STAR 合作伙伴研究发现，脱水系统重复循环 TEG 的速度通常是所需速度的 2 倍或多倍。在不影响脱水效果和不增加额外费用的情况下，作业者可降低 TEG 循环速度，进而降低甲烷排放速度。

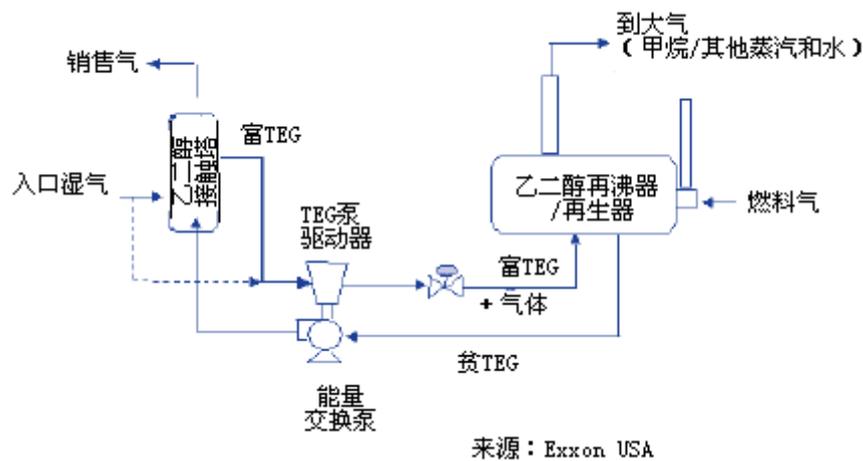


图 1 未安装闪蒸分离器的 TEG 系统

2.2 安装闪蒸分离器

多数生产和处理部门的脱水器将来自 TEG 循环泵的乙二醇/天然气混合物直接输送到再生器，在再生器中将所有吸附在富 TEG 中的甲烷和 VOCs 排放到大气中。一项工业研究发现，气体处理能力小于 1 百万标准立方英尺/天的脱水装置中，有 85% 的装置没有安装闪蒸分离器；气体处理能力在 1~5 百万标准立方英尺/天的脱水装置中，有 60% 的装置没有安装闪蒸分离器；气体处理能力超过 5 百万标准立方英尺/天的脱水装置中，有 30%~35% 的装置没有安装闪蒸分离器；

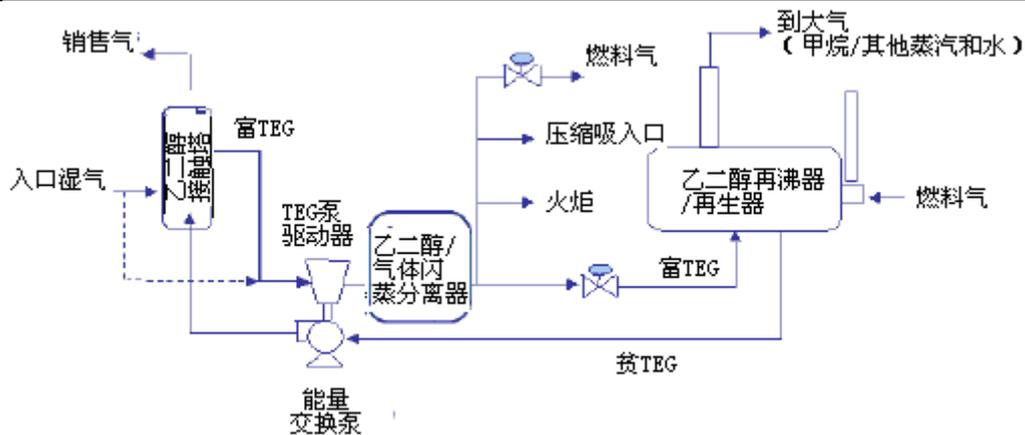
在闪蒸分离器中，液体和气体在燃料气压力下或者在 40~100 psig 的压缩机吸入口压力下被分离开来。在这种低压和没有加热的情况下，气体中富含甲烷和较轻的 VOCs，而水仍然溶解在 TEG 中。闪蒸罐可捕集吸附在 TEG 中的大约 90% 的甲烷和 10%~40% 的 VOCs，从而减少排放量。除去大部分甲烷和轻烃的湿 TEG 流入再沸器/再生器中，通过加热蒸发掉所吸收的水分以及残留的甲烷和 VOCs。这些气体通常被排放到大气中，贫 TEG 则被循环回到气体接触塔中。图 2 给出了一个带闪蒸分离器的 TEG 脱水器示意图。

注意：在大型脱水器上安装闪蒸分离器要符合油气工业 NESHAPs 中规定的最高可控技术 (MACT) 标准。当法律要求在脱水器上安装这些设备时，合作伙伴不应将相关的甲烷减排量包括在天然气 STAR 计划报告中。

危险性空气污染物国家排放标准 (NESHAP) 条例

2001 年 6 月 29 日，EPA 制定了适用于油气生产设备 (40 CFR 63 Subpart HH) 和油气输送与存储设备 (40 CFR 63 Subpart HHH) 的危险性空气污染物国家排放标准 (NESHAP)。这些标准设定了一个流量下限，生产设备为 3 百万立方英尺/天，输送与存储设备为 10 百万立方英尺/天。高于以上标准，作业者需要安装设备，或者使用闭式排放控

制系统或进行工艺改进将脱水器排出口处的 HAPs 减少 95%，或者燃烧 HAPs 将其浓度降至 20 ppmv 以下。如果苯排放量超过 1 吨/年，同样也应按此标准执行。



来源：Exxon USA

图 2 安装闪蒸分离器的 TEG 循环系统

2.3 使用电泵代替能量交换泵

偏远气田没有电力供应，取而代之的是用能量交换泵来驱动贫 TEG 循环泵。对于吸附在富 TEG 中的每一体积气体，需要从湿进气中增加两倍多体积的气体才能给贫 TEG 泵提供足够的驱动能量。于是，当没有闪蒸分离器时，使用活塞式或齿轮式“能量交换”泵会使夹带在富 TEG 中和排到大气中的气体体积变成 3 倍。安装电机代替能量交换泵能消除这种额外的泄漏源。常规的活塞式能量交换泵同样常将湿 TEG 泄漏到贫（干）TEG 中。当漏失速度仅仅为 0.5% 时，就需要将循环速度增加一倍才能满足销售天然气湿度标准，因此增加了潜在的气体排放。更多的有关这方面的信息请参考 EPA 经验交流材料“用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵”。

3 经济和环境效益

优化乙二醇循环速度和安装闪蒸分离器具有以下几方面的经济和环境效益：

- ★ 将乙二醇循环速度降至最优速度能节约乙二醇更换成本以及再沸器中的燃料消耗。
- ★ 减少 VOC 和 HAP (BTEX) 排放量能提高地面空气质量。对于大型脱水器，BTEX 减排将非常显著。
- ★ 将安装在脱水装置上的闪蒸分离器和安装在再沸器排气口处的冷凝器结合起来使用，通过除去大部分的非冷凝气体（主要是甲烷），能提高冷凝器的工作效率。冷凝器回收天然气液 (NGLs) 和 HAPs 比单独使用闪蒸分离器更有效。
- ★ 将闪蒸分离器中回收的气体当作燃料气使用能减少运行成本。
- ★ 将闪蒸罐中回收的气体用管线引到上游压缩机吸入口处（新装置中常用的设计做法）能减少生产成本。
- ★ 将脱水器的再生器排气口用管线引到蒸汽回收装置上，可将闪蒸罐中的气体当作乙二醇再沸器中的汽提气来使用。

4 决策过程

通过以下 5 个步骤，作业者能够评价优化 TEG 循环速度和安装闪蒸分离器的成本和效益。

第 1 步：优化循环速度。按照几个简单的计算公式，作业者能够很容易地计算出最优循环速度。

首先,通过读取流量控制器获得当前循环速度,该流量控制器计量循环的 TEG 量。每循环 1 加仑 TEG,吸收 1 标准立方英尺的甲烷气体,如果装置带有能量交换泵,那么需要有 2 立方英尺多的天然气来驱动泵。当没有闪蒸分离器时,所有这些气体都将被排放到大气中。

评价优化 TEG 循环速度和安装闪蒸分离器的五个步骤

- (1) 优化循环速度
- (2) 确认不带闪蒸罐的脱水系统
- (3) 估计投资成本和安装费用
- (4) 估计节省气体的价值
- (5) 进行经济分析

其次,确定气流脱水所需的最小循环速度。在某些特定场所,最小 TEG 循环速度是气体流动速度、流入气体含水量和预期的流出气体含水量的函数。除水速度是气体流动速度和气体流中除水量的函数。TEG/水比值(吸收 1 磅水需要多少加仑的 TEG)在 2~5 加仑 TEG/磅水之间变化。工业上所接受的经验法则是 3 加仑 TEG/磅水。除水速度越大或者 TEG/水比值越高,TEG 循环速度必须越大。一些合作伙伴报道,TEG/水比值低于标准值(如<3 加仑 TEG/磅水),则将降低最优的 TEG 循环速度。

如果 TEG 循环速度太低,将带来很多问题,所以要求有一定的过循环量。例如,过分限制循环速度可能引起与塔盘水力学、接触塔性能、乙二醇-乙二醇热交换器堵塞等方面相关的问题。因此,当计算循环速度减少值时,作业者应考虑一个安全余地或者“安全区”。各个脱水器的最优循环速度一般在超过最小循环速度 10%~30%的范围内。用于计算最小和最优循环速度的公式如表 3 所示。

表 3 计算最优 TEG 循环速度

<p>一个处理能力为 20 百万立方英尺/天的脱水器, TEG 循环速度设定为 280 加仑/小时,湿气流中含水情况为 60 磅水/百万立方英尺气,要求在最小循环速度以上有一个 15%的安全区。最优的 TEG 循环速度可以按照以下步骤进行计算:</p> <p>已知:</p> <p>F=气体流动速度(百万立方英尺/天)</p> <p>I=入口含水量(磅/百万立方英尺)</p> <p>O=出口含水量(磅/百万立方英尺)(经验值是 4)</p> <p>G=乙二醇与水的比值(加仑 TEG/磅水)(经验值是 3)</p> <p>L (min) =最小 TEG 循环速度(加仑/小时)</p> <p>W=除水速度(磅/小时)</p> <p>计算: L (min) =TEG 循环的最小速度(加仑/小时)</p> $L(\min) = W \times G$ $W = \frac{F \times (I - O)}{24 \text{小时/天}} = \frac{20 \times (6 - 4)}{24 \text{小时/天}} = 46.66 \text{磅水/小时}$ <p>G=3</p> $L(\min) = 46.66 \times 3 = 140 \text{加仑 TEG/小时}$ <p>该值就是最小循环速度。在 L (min) 上增加 15%余量得到最优循环速度 160 加仑 TEG/小时。例如:</p> $L(\text{opt}) = \text{最优循环速度}(\text{opt}) = 140 \text{加仑 TEG/小时} \times 1.15 = 160 \text{加仑 TEG/小时。}$
--

第 2 步: 确认不带闪蒸罐的脱水系统。作为标准设备配置,大多数新型脱水设备都包含有闪蒸分离器。然而,大约三分之二的操作设备没有闪蒸分离器,这些设备主要是小型的、陈旧的或比较偏远的设备。在进入下一步骤之前,作业者首先应确定出没有配置闪蒸分离器的脱水设备。

第 3 步: 估计投资成本和安装费用。为了简化分析,假定优化乙二醇循环速度所需的费用非常少(0.5 小时,每小时 25 美元)。

在估算购买和安装闪蒸分离器的费用之前，合作伙伴必须选择满足他们需要的结构和尺寸。选择闪蒸分离器取决于许多因素，包括气流成分（如气液回收率）、建筑法规规定、成本和项目实施的难易程度等。闪蒸分离器有两种结构：卧式和立式。一般地，气流中有大量 NGLs 时，需要采用滞留时间为 10~30 分钟的三相水平分离器（天然气、TEG 和 NGLs）。NGLs 量不大时，可使用滞留时间为 5~10 分钟的两相分离器（天然气、TEG）。垂直容器最适合用于两相系统。

天然气 STAR 合作伙伴和其他工业专家确定出乙二醇脱水器操作者过量循环 TEG 的 5 个原因：

- *燃气动力能量交换泵会污染乙二醇，使乙二醇从湿气流中吸水的效率降低。为了弥补吸水效率的降低，作业者过量循环 TEG 以获得与无污染乙二醇在低速循环条件下可获得的相同的露点降。
- *循环速度设定值与处理厂设计能力相匹配，而不是与实际生产能力相匹配。
- *当天然气产出速度发生波动时，较高的循环速度才能保证充分脱水。
- *处于偏远地区的脱水装置不方便进行频繁调整。
- *由独立接触塔操作的脱水器，对优化循环速度和减少甲烷损失不敏感。

生产厂家销售一系列标准的、“现成”的闪蒸分离器，这些分离器以沉降时间和沉降体积来标定。为了确定闪蒸分离器的合适尺寸，合作伙伴应计算各个系统所需的沉降体积。

表 4 给出了基于 TEG 循环速度的用于确定闪蒸分离器所需沉降体积的基本计算过程。如果作业者要在闪蒸分离器中将 NGLs 分离出来以使用油罐车定期运走的话，那么分离器拥有一个更大的沉降体积是很有必要的。例如，如果 TEG 循环速度表明需要有一个 75 加仑的沉降体积，并且分离器中将累积 35 加仑的 NGLs，那么分离器沉降体积应增加 35 加仑。

表 4 确定闪蒸罐尺寸

已知： L=TEG 循环速度，加仑/小时

T=滞留时间，分钟

计算： SV=液体沉降体积，加仑

$$SV = (L \times T) \div 60$$

注：对于定期运走的累积的 NGLs，需要增加一个与现场具体情况相适应的额外的体积。

闪蒸分离器的总费用取决于（A）投资费用和（B）安装操作费用。

（A）投资费用

闪蒸分离器的费用在 2 500~5 000 美元之间，主要取决于闪蒸罐结构和尺寸。如果所需尺寸超过了现有最大的标准闪蒸罐，作业者既可以定制闪蒸罐，或者并排安装多个闪蒸罐，或者安装一个独立的 NGL 积液罐。

（B）安装操作费用

安装费用取决于安装位置、地形、地基、风化保护（容器制造标准以气体中硫化氢含量为基础）、NGL 累积与运走能力、自动化及仪表化程度等因素。闪蒸分离器制造公司提供的信息中，提供的平均安装费用为 1 200 美元，其中包括运输费用、组装费用和劳务费用。该费用可能增加 80%，这取决于具体场地的情况。

安装在现有脱水设备上的闪蒸分离器是预制的，并且包括管线、阀门和其它相关配套设备。安装工作能在最短的停工时间内完成。为了尽量减少安装费用，合作伙伴建议在维修脱水装置时或在其他系统检修期间安装闪蒸分离器。

闪蒸分离罐设计成一种简单的压力容器，运动部件很少。因此，操作维护（O&M）费用可以忽略不计。合作伙伴发现，闪蒸分离器的维护工作可在脱水装置的日常操作维护过程中完成。

表 5A 和表 5B 给出了一系列闪蒸罐类型和标准尺寸的投资与安装费用。

表 5A 立式分离器尺寸与费用

沉降体积 ¹ (加仑)	直径 (英尺)	高度 (英尺)	投资费用 (美元)	安装费用 (美元)	操作维护费用 (美元)
8.2	1.08	4	2 500	1 200~2 160	忽略不计
13.5	1.33	4	3 300	1 200~2 160	忽略不计
22.3	1.66	4	4 300	1 200~2 160	忽略不计
33.6	2	4	5 000	1 200~2 160	忽略不计

注：费用信息由 Sivalis 公司提供。
¹沉降体积=总体积的一半（不包括 NGL 积液需要的体积）

表 5B 标准卧式三相分离器尺寸与费用

沉降体积 ¹ (加仑)	直径 (英尺)	高度 (英尺)	投资费用 (美元)	安装费用 (美元)	操作维护费用 (美元)
49	2	3	3 000	1 200~2 160	忽略不计
65	2	5	3 200	1 200~2 160	忽略不计
107	2.5	5	3 400	1 200~2 160	忽略不计
158	3	5	4 800	1 200~2 160	忽略不计
225	3	7.5	5 000	1 200~2 160	忽略不计

注：费用信息由 Sivalis 公司提供。
¹沉降体积=总体积的一半（不包括 NGL 积液需要的体积）

第 4 步：估计节省气体的价值。通过单独优化循环速度、安装闪蒸分离器或者在某些情况下两种措施并用都能节省大量天然气。表 6 给出了如何计算无闪蒸分离器情况下通过优化 TEG 循环速度所节省的气体量。降低 TEG 循环速度获得的其他节省情况包括：

- ★ 降低再生器的燃料需求。将再生器上的热负荷降低到 1 340Btu/加仑 TEG，则每年能节约 545~5 4456 美元，具体节约量取决于过循环量和天然气热值。
- ★ 降低乙二醇更换频率。工业专家估计，以每小时损失 0.5%体积的 TEG 来计算，年节约费用在 393（如果循环速度从 45 加仑/小时降至 30 加仑/小时）~39 300 美元（如果循环速度从 3000 加仑/小时降至 750 加仑/小时）之间。

安装闪蒸分离器可以使合作伙伴将夹带在 TEG 中的大部分气体回收回来。安装闪蒸分离器所节约的气量是 TEG 循环泵类型、脱水器中乙二醇循环速度和闪蒸分离器压力的函数。一般地，使用闪蒸分离器能从 TEG 中回收 90%的甲烷气体。脱水器中所用的循环泵类型对气体回收率影响最大。作为一个经验法则，离开接触塔的每加仑 TEG 中溶解有 1 立方英尺的甲烷气体。能量交换泵需要补充额外的高压气体，连同溶解在富 TEG 中的气体一起为将贫 TEG 泵回接触塔提供所必需的能量。其结果是 TEG 中夹带的甲烷气量将增加到 3 立方英尺/加仑 TEG。

表 7 给出了如何来计算无闪蒸分离器情况下的甲烷排放量以及计算使用闪蒸分离器所节省气体的价值的过程。本例假定 TEG 循环速度已经经过优化。

表 8 对比了使用闪蒸分离器的潜在节省量，计算了能量交换泵和电动泵在不同循环速度下的情况。如表所示，带电动循环泵的脱水系统越小，支付闪蒸分离器成本的经济潜力越低。

值得重点提及的是，从 NGLs 销售中可以获得额外的收入。当处理富 TEG 时，NGLs 常常凝析出来并在闪蒸分离器中被分离出来。NGLs 的体积因接触塔和闪蒸罐内的温度和压力、产出气成分以及

TEG 中气体夹带量不同而变化。这是一个非常具体的评价过程，超出了本研究范围。

表 6A 计算无闪蒸分离器情况下优化脱水器中 TEG 循环速度所带来的总的年度节省情况

<p>已知： A=TEG 吸收速度，（立方英尺/加仑 TEG）（经验值是 1） E=能量交换泵所含气体，（立方英尺/加仑 TEG）（经验值是 2） H=每年小时数，（8 760） P=天然气销售价格（假定 3 美元/千立方英尺） L（初始）=调整前 TEG 循环速度（加仑/小时） L（优化）=调整后 TEG 循环速度（加仑/小时） V=节省天然气的价值（美元/年） $V = \frac{(L(\text{初始}) - L(\text{优化})) \times (A + E) \times H \times P}{1000}$ 从这个公式可以看到，循环速度降低很小就能产生很大的节省，如下面例子所示。注意，在用电动机而不是用能量交换泵送贫 TEG 的地方，节省量应减少 2/3。</p>			
初始循环速度	优化循环速度	年节省甲烷量（千立方英尺）	年节省费用（3 美元/千立方英尺）
45	30	394	1 182 美元
90	30	1 577	4 731 美元
225	150	1 971	5 913 美元
450	150	7 884	23 652 美元
675	450	5 913	17 739 美元
1 350	450	23 652	70 956 美元
1 125	750	9 855	29 565 美元
2 250	750	39 420	118 260 美元

表 7 无闪蒸罐分离器的气体排放量和潜在的节省量

<p>假设一套带能量交换泵的脱水系统，以 150 加仑/小时的速度循环 TEG，气体回收率为 90%，天然气价格为 3 美元/千立方英尺。</p> <p>已知： L=TEG 循环速度（加仑/小时） G=甲烷夹带速度（经验准则是：能量交换泵为 3 立方英尺/加仑，电动泵为 1 立方英尺/加仑）</p> <p>计算： V=年气体排量（千立方英尺/年） $V = (L \times G) \times 8\ 760 \text{ (小时/年)} \div 1\ 000 \text{ 立方英尺/千立方英尺}$ $V = 150 \text{ 加仑/小时} \times 3 \text{ 标准立方英尺/加仑} \times 8\ 760 \text{ 小时/年} \div 1\ 000 \text{ 立方英尺/千立方英尺}$ $V = 3\ 942 \text{ 千立方英尺/年}$ 节省 = $3\ 942 \text{ 千立方英尺} \times 0.9 \times 3 \text{ 美元/千立方英尺} = 10\ 643 \text{ 美元/年}$</p>
--

表 8 利用闪蒸分离器的潜在节省量

TEG 循环速度 (加仑/小时)	能量转换泵		电泵	
	千立方英尺/年	美元/年	千立方英尺/年	美元/年
30	710	2 129	237	710
150	3 548	10 643	1 183	3 548
300	7 096	21 287	2 365	7 096
450	10 643	31 930	3 548	10 643

第 5 步：进行经济分析。如第 4 步中所说明的那样，将乙二醇循环速度优化到一个较低的水平总会节约大量成本。因此，不管是否决定安装闪蒸分离器，合作伙伴应首先采用这种措施。其余部

的分析集中在闪蒸分离器上，并假定乙二醇循环速度已经经过优化。

一旦估计出投资费用和安装费用以及节省气体的价值后，就应进行经济分析。经济评价的一种最直接的方法就是现金流量贴现分析，在分析过程中，将安装闪蒸分离器的第一年费用与项目整个经济寿命期内节省天然气的贴现值进行比较。

表 9A 和表 9B 给出了这类分析的假设结果。对于所有最小的系统，在配置能量转换泵的脱水系统上安装闪蒸分离器，其成本将在不到一年的时间内收回，而在配置电动泵脱水系统上安装闪蒸分离器，其成本则要在不到两年半的时间内才能收回。

表 9A 在配置能量交换泵的脱水器上安装闪蒸分离器的经济效益

TEG 循环速度 (加仑/小时)	投资成本和安装费用 (美元) ¹	天然气节省费用 (美元/年) ²	总的节省费用 (美元/年) ³	投资回收期 (月)	投资回报率 ⁴
30	5 160	2 129	2 158	29	31%
150	5 560	10 643	10 792	6	193%
300	7 160	21 287	21 573	4	301%
450	13 920 ⁵	31 930	32 365	5	232%

¹卧式闪蒸罐，80%的意外费用花在安装上，30 分钟的沉降时间加上每周累积的 NGL 体积。
²天然气价格按 3 美元/千立方英尺计算。
³总的节省费用包括占回收天然气体积的 1%的天然气体液（如果存在），其价格为 21 美元/桶。这个 NGL 回收率仅适用于这些例子，各个现场必须单独评价其潜力。
⁴内部收益率以 5 年期为基础。
⁵当沉降体积超过标准尺寸的闪蒸分离器（FTS）时，两个并行 FTS（用户定制）的费用。

表 9B 在配置电动泵的脱水器上安装闪蒸分离器的经济效益

TEG 循环速度 (加仑/小时)	投资成本和安装费用 (美元) ¹	天然气节省费用 (美元/年) ²	总的节省费用 (美元/年) ³	投资回收期 (月)	投资回报率 ⁴
30	5 160 ⁵	710	719	无	无
150	5 160 ⁵	3 548	3 596	17	64%
300	5 160 ⁵	7 096	7 110	9	136%
450	7 160	10 643	10 671	8	149%

¹卧式闪蒸罐，80%的意外费用花在安装上，30 分钟的沉降时间加上每周累积的 NGL 体积。
²天然气价格按 3 美元/千立方英尺计算。
³总的节省费用包括占回收天然气体积的 1%的天然气体液（如果存在），其价格为 21 美元/桶。这个 NGL 回收率仅适用于这些例子，各个现场必须单独评价其潜力。
⁴内部收益率以 5 年期为基础。
⁵最小标准尺寸的闪蒸罐的成本。

这些表同样也说明了 NGLs 在分析中的作用。因为能量交换泵中富 TEG 所夹带的天然气体积是电动泵的 3 倍，所以在闪蒸分离器中 TEG 将释放更多的 NGLs。其结果是，配置能量交换泵的乙二醇脱水系统要求有一个容量较大的闪蒸罐。销售 NGL 所增加的收入证明大闪蒸罐所花的额外费用是合理的。对于电动泵来讲，在 TEG 中的 NGLs 量并不能达到一个经济的数量界限，所以当循环速度在 30~300 加仑/小时之间时，可以使用最小尺寸的标准闪蒸罐。然而，当使用循环速度为 450 加仑/小时的闪蒸罐时，仅能收集和出售很少量的 NGLs 来减少闪蒸罐的成本。

同时安装闪蒸分离器和优化乙二醇循环速度的经济效益完全取决于现场是否能经济地使用闪蒸罐中回收的所有气体。合作伙伴报道了井口脱水器装置中不含发动机驱动的压缩机且再沸器燃料消

耗量低于闪蒸罐中回收气体量的例子。在这种情况下，多余的回收气将不得不从闪蒸罐中排放出去。这类操作中，优化乙二醇循环速度在减少闪蒸罐气体排放方面有一个经济界限值。若要评价同时使用闪蒸罐和优化循环速度这两种措施的节省量，则要求提供现场具体的燃料使用情况。

5 经验总结

乙二醇脱水器中的 TEG 循环速度通常比从天然气中除去水分所需的速度高 2~3 倍。大多数生产脱水器没有闪蒸罐，利用这种闪蒸罐从 TEG 中回收有价值的甲烷气体是一种经济有效的方法，否则这些甲烷气体将被排放到大气中。天然气 STAR 合作伙伴提供了如下经验：

- ★ 为了将循环速度保持在最优值附近，现场操作维护人员或者承包人需要学习有关计算和调整循环速度的方法，包括估计“安全区”的方法。将循环速度调整纳入正常的操作维护工作中。
- ★ 作业者不应减少系统中的乙二醇数量，而应降低循环速度；减少乙二醇数量不会达到预期的节省量。减少乙二醇数量可能引起与塔盘水力学、接触塔性能、乙二醇—乙二醇热交换器堵塞等方面相关的问题。
- ★ 确定出所有没有配置闪蒸分离器的正在运行的脱水器，并收集评价安装闪蒸罐的经济效益所需的必要信息。
- ★ 当有可用的工业动力（440 伏或者更高）时，用电机驱动泵替代能量交换泵可将夹带在 TEG 中的天然气至少减少 2/3，进而显著地减少甲烷排放量。当只有 220 伏的电压可供使用时，使用由气体能量交换泵和电动泵组合成的复合泵，能够减少 TEG 中的甲烷吸收量并降低甲烷排放量（见 EPA 经验交流材料“用电动泵替换气体辅助的乙二醇泵”）。
- ★ 将回收的甲烷用管线引到压缩机吸入口或当作燃料使用。合作伙伴报道，回收的甲烷中有时含水太多而不能用于气动仪表系统。
- ★ 从闪蒸分离器中收集有市场价值的天然气液，作为潜在的、重要的额外收入来源。
- ★ 经过一段时间，气动能量交换泵上的密封可能发生泄漏，污染贫乙二醇并降低脱水效果。作业者不应通过增加 TEG 循环速度来补偿污染的乙二醇。相反，应对该能量交换泵进行评价以确定是否进行维修或更换。
- ★ 记录各个脱水器的减少量并将其包含在天然气 STAR 年度报告中。注意：通过安装满足 NESHAP 标准的工艺设备所获得的甲烷节省量不应包括在天然气 STAR 计划报告中。

6 参考文献

- American Petroleum Institute. Specification for Glycol-Type Gas Dehydration Units (Spec 12GDU). July 1993.
- Garrett, Richard G. Rotor-Tech, Inc. Personal contact.
- Gas Research Institute Environmental Technology and Information Center (ETIC). Personal contact.
- GRI and U.S. EPA. Methane Emissions from Gas-Assisted Glycol Pumps. January 1996.
- Griffin, Rod. Sivals, Incorporated. Personal contact.
- Henderson, Carolyn. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.
- Moreau, Roland. Exxon-Mobil Co. USA. Personal contact.
- Robinson, R.N. Chemical Engineering Reference Manual, Fourth Edition. 1987.

Reuter, Curtis. Radian International LLC. Personal contact.

Rueter, C; Gagnon, P; Gamez, J.P. GRI Technology Enhances Dehydrator Performance. American Oil and Gas Reporter. March 1996.

Rueter, C.O.; Murff, M.C.; Beitler, C.M. Glycol Dehydration Operations, Environmental Regulations, and Waste Stream Survey. Radian International LLC. June 1996.

Tannehill, C.C; Echterhoff, L.; Leppin, D. Production Variables Dictate Glycol Dehydration Costs. American Oil and Gas Reporter. March 1994.

Tingley, Kevin. U.S. EPA Natural Gas STAR Program. Personal contact.